



**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA
DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN.**

ESPECIFICACIÓN N° 129-0223

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	PROFESIONAL RESPONSABLE DEL DISEÑO	4
3.	NORMAS Y PUBLICACIONES APLICABLES.....	4
4.	DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	5
5.	CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES.....	5
5.1.	Solicitaciones de Diseño	5
5.2.	Criterios de Estabilidad.....	6
5.3.	Sistema de anclaje de estructuras y equipos a sus fundaciones.....	7
5.4.	Diseño de Armadura.....	9
5.5.	Recubrimiento mínimo.....	10
5.6.	Otros criterios de diseño generales.....	10
6.	DISEÑO DE FUNDACIONES CUYA SOLICITACION PRINCIPAL ES VERTICAL	11
7.	DISEÑO DE FUNDACIONES CUYA SOLICITACIÓN PRINCIPAL ES FLEXIÓN	15
8.	DISEÑO DE FUNDACIONES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	17
8.1.	Fundaciones cuya solicitud principal es de flexión	17
8.2.	Fundaciones cuya solicitud principal es vertical.....	18
9.	DISEÑO DE FUNDACIONES PARA ESTRUCTURAS ALTAS DE SUBESTACIONES	20
10.	DISEÑO DE FUNDACIONES PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	21
10.1.	Aceleraciones sísmicas	21
10.2.	Coeficientes Sísmicos para el diseño	22
10.3.	Solicitaciones sísmicas.....	23

Nombre Documento	<i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON</i>				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN

INDICE. Continuación

11.	DISEÑO DE FUNDACIONES ESPECIALES.....	25
12.	DOCUMENTOS DE RESPALDO DEL DISEÑO DE FUNDACIONES	26
13.	PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DE FUNDACIONES.....	27
	ANEXO N° 1: TERMINOLOGÍA	30

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los procedimientos, normas y recomendaciones contenidas en el presente documento se aplicarán a la elaboración de todos los Diseños de Fundaciones de Hormigón de proyectos de Subestaciones Eléctricas y Líneas de Transmisión de CGE, a excepción de aquellas partes que resulten modificadas por el texto del Contrato o por los Términos de Referencia Especiales de ese Contrato en particular.

Se excluyen de esta Especificación Técnica las fundaciones especiales tales como: pilotes, pilas, otras que no puedan caracterizarse como las señaladas en las secciones 6 y 7 de las presentes Especificaciones.

2. PROFESIONAL RESPONSABLE DEL DISEÑO

El diseño de las fundaciones de los proyectos de Subestaciones y Líneas de Transmisión de CGE deberá ser firmado por un Ingeniero Civil Estructural con al menos 5 años experiencia comprobable en proyectos relacionados, en adelante el Ingeniero Diseñador. Este Ingeniero Diseñador es quien CGE considerará como el responsable del diseño y deberá estar claramente identificado en los documentos relacionados con el diseño.

3. NORMAS Y PUBLICACIONES APLICABLES

En aquellos puntos no mencionados explícitamente en estas Especificaciones Técnicas, el diseño de fundaciones se deberá realizar de acuerdo con las ediciones más recientes de las siguientes publicaciones:

- IEEE 691 Guide for Transmission Structure Foundation Design and Testing
- ACI – 318 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural

El Ingeniero Estructural deberá considerar en su diseño otras normativas necesarias según sea el tipo de fundación a diseñar.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

4. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- Especificación Técnica Para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE
- ASCE 10-97 Design of Latticed Steel Transmission Structures

5. CRITERIOS DE DISEÑO GENERALES

El diseño de cualquier fundación deberá realizarse de acuerdo con los parámetros de suelo y recomendaciones señaladas en el Informe de Mecánica de Suelos correspondiente, cumpliendo los Criterios de Diseño Generales que se señalan a continuación.

El Ingeniero Diseñador deberá tener presente que el diseño de las fundaciones no sólo debe cumplir los criterios de diseño técnicos que se señalen en estas Especificaciones Técnicas y/o normas de diseño correspondientes, sino que también debe tomar en cuenta la optimización técnico-económica de manera de no encarecer innecesariamente los costos de construcción.

5.1. Solicitaciones de Diseño

a. General

El diseño de las fundaciones deberá realizarse con las reacciones más desfavorables que se obtienen del diseño de la estructura correspondiente. Estas reacciones podrán ser de carácter “normal” (de ocurrencia permanente u ocurrencia frecuente) o “eventual” (de ocurrencia esporádica) según definición de solicitaciones de la estructura propiamente tal.

Para el caso de que el diseño de la estructura estipule cargas mayoradas, el diseño de la fundación propiamente tal deberá realizarse para las reacciones obtenidas de las cargas sin mayorar. Para el caso de que el diseño de la estructura estipule cargas de servicio, el diseño de la fundación propiamente tal deberá realizarse para las reacciones directas de dichas cargas de servicio.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Para efectos de entendimiento de la presente Especificación Técnica, se entenderá por “solicitud de diseño” a la reacción sin mayorar o de servicio según corresponda. Excepción a este párrafo es lo señalado en el punto 5.2.d de la presente Especificación Técnica, relacionado con la Estabilidad al Arrancamiento de la fundación.

b. Solicitaciones de diseño de fundaciones

Según sea el tipo de fundación, el diseño deberá considerar las siguientes solicitudes y sus combinaciones más desfavorables:

- Compresión, Corte Uniaxial, Corte Biaxial, Flexión Uniaxial, Flexión Biaxial
- Tracción o Arrancamiento, Corte Uniaxial, Corte Biaxial, Flexión Uniaxial, Flexión Biaxial

5.2. Criterios de Estabilidad

Toda fundación deberá cumplir los siguientes criterios de estabilidad:

a. Resistencia a la compresión del suelo

La tensión de compresión máxima en el suelo de fundación no deberá sobrepasar la tensión admisible, tanto para solicitudes normales como para solicitudes eventuales

b. Estabilidad al volcamiento

Las fundaciones diseñadas sin colaboración lateral del suelo deberán cumplir que el área de apoyo comprimida sea de:

- 100% para solicitudes normales
- 80% mínimo para solicitudes eventuales

Para fundaciones diseñadas con colaboración lateral del suelo (diseño conocido como Método de Sulzberger) se deberá cumplir que el ángulo de giro de la fundación “ θ ”, sea tal que $\text{tg}(\theta) < 0.01$. Este valor podrá ser más restrictivo si así lo señalara el Informe de Mecánica de Suelos respectivo

No se aceptarán diseños que no cumplan lo señalado en esta sección.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

c. Estabilidad al deslizamiento

La resistencia total al deslizamiento, minorada por los factores de seguridad (FS) que se señalan a continuación, deberá ser mayor o igual a la sollicitación deslizante de diseño.

Tabla N° 1: Factores de Minoración para Resistencia al Deslizamiento

Fuerza Resistente	FS Caso Normal	FS Caso Eventual
Friccionante	1.5	1.3
Cohesiva	4.0	3.0
Empuje Pasivo	4.0	3.0

Se debe tener presente que la colaboración de la Fuerza Cohesiva solo existe si la fundación está apoyada en suelo natural.

En el diseño de la fundación se deberá señalar cuál es el plano de falla considerado para verificar la estabilidad al deslizamiento.

d. Estabilidad al arrancamiento

La fuerza resistente al arrancamiento deberá ser mayor o igual a 1,1 veces la sollicitación de arrancamiento (tracción) mayorada.

En el caso de que el diseño de la estructura se haya realizado para cargas de servicio, la fuerza resistente al arrancamiento deberá ser mayor o igual a 1,65 veces la sollicitación de arrancamiento normal ó 1,32 veces la sollicitación de arrancamiento eventual.

Caso especial serán los muertos de anclaje de los tirantes de estructuras atirantadas, diseño que deberá realizarse considerando que la fuerza resistente al arrancamiento deberá ser mayor a 2,0 veces la sollicitación de arrancamiento de servicio.

5.3. Sistema de anclaje de estructuras y equipos a sus fundaciones

Las estructuras y equipos deberán anclarse a la fundación cumpliendo las siguientes disposiciones generales:

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

a. Pernos de anclaje

Deberán ser de materiales dúctiles y con resiliencia o tenacidad garantizada de 27 Joule a la temperatura que defina CGE según sea la ubicación del proyecto, pero en ningún caso mayor a 0°C. Esta propiedad será medida en ensayos de impacto sobre probeta con entalle simplemente apoyada, de acuerdo a norma ASTM A370.

El diseño de los pernos de anclaje deberá considerar la interacción tracción – corte. Excepción a esta condición serán los sistemas de fijación que consideren llaves de corte o topes externos para tomar la sollicitación de corte.

El diseño de los pernos de anclaje podrá formar parte del diseño de la estructura o equipo que se ancla a la fundación o formar parte del diseño de la fundación propiamente tal. En la memoria de cálculo del diseño de la fundación deberá quedar claro dónde está el diseño de estos elementos.

b. Barras de fundación o stub

Las barras de fundación o stub deberán ser de los mismos materiales que la estructura y deberán considerar en su diseño la colocación de anclas para minimizar la longitud de la barra.

El diseño de la barra de fundación deberá realizarse de acuerdo con la misma norma con que se diseñó la estructura y deberá formar parte del diseño de la estructura.

c. Pernos químicos (tipo Hilti)

Se podrán utilizar pernos de anclaje químicos para la fijación de estructuras menores tales como cercos o cierros.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

La fijación de equipos eléctricos, estructuras de soporte de equipos eléctricos u otro tipo de estructuras de importancia podrá realizarse mediante pernos de anclaje químicos sólo previa aprobación por parte de CGE. Para tal efecto, el Ingeniero Diseñador deberá solicitar por escrito la aprobación de CGE, para lo cual deberá adjuntar la memoria de cálculo que respalde el diseño y la calidad del perno químico propuesto, en particular, la garantía del fabricante a la resistencia a cargas sísmicas.

5.4. Diseño de Armadura

El diseño de las armaduras de las fundaciones deberá realizarse de acuerdo con lo señalado en las siguientes disposiciones:

- a. El diseño de las armaduras debe realizarse para resistencias minoradas de los materiales según disposiciones de la ACI-318 y solicitudes de diseño mayoradas según los Factores de Mayoración definidos para el diseño de la estructura correspondiente.

En el caso del diseño de fundaciones de estructuras con cargas de servicio (cargas no mayoradas) se deberá considerar un Factor de Mayoración mínimo de 1,5.

- b. Fundaciones cuya solicitud principal es carga axial de tracción o arrancamiento podrán diseñarse sin armaduras si cumplen lo señalado en la sección de la ACI-318 correspondiente a Hormigón Sin Armadura.

Excepción a lo anterior serán las fundaciones ubicadas en zonas con presencia de humedad y/o cambios de temperatura importantes durante el día, donde igualmente deberá colocarse armadura para evitar la fisuración del hormigón producto de las condiciones señaladas.

- c. Las armaduras mínimas a considerar en el diseño serán la siguientes:
 - Elementos cuya solicitud principal es la flexión (ejemplo: vigas de amarre, losas de fundación): las disposiciones de la sección de la ACI-318 correspondiente a elementos con solicitud de Flexión.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Vástagos de fundaciones: 0.5% de la sección bruta promedio (ver Figura N° 2 en sección 8 para identificación de vástago).
 - Cuerpos de fundaciones tipo monobloque concretado contra terreno: 0.1% de la sección bruta (ver Figura N° 2 en sección 8 para identificación de cuerpo de fundación monobloque).
 - Cuerpos de fundaciones tipo monobloque concretado contra terreno en suelos con contenido de sales solubles y/u otro tipo de agente corrosivo : 0.2% de la sección bruta, salvo que el Informe de Mecánica de Suelos indique un valor mayor (ver Figura N° 2 en sección 8 para identificación de cuerpo de fundación monobloque)
 - El diámetro mínimo de las armaduras de flexión será $\phi_b 12$.
 - La armadura mínima de corte (estribos) será $\phi_b 8 @ 20$ cm.
 - La separación de las barras de armaduras de flexión no será superior a 30 cm.
- d. En el caso de fundaciones ancladas en roca, la armadura mínima de los cáncamos o barras de anclaje será de $8 \phi_b 16$ y deberán utilizarse barras con resalte.

5.5. Recubrimiento mínimo

Los diseños de fundaciones deberán considerar un recubrimiento mínimo de 5 cm para las armaduras.

Según sean las condiciones de salinidad o contaminación de los suelos señaladas en el Informe de Mecánica de Suelos correspondiente al proyecto, el diseño deberá realizarse con un recubrimiento mayor.

5.6. Otros criterios de diseño generales

- El coronamiento de las fundaciones se ubicará a 20 cm como mínimo sobre el nivel de terreno.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Para fundaciones de estructuras ancladas mediante barras de fundación o stub, la parte superior de la fundación deberá tener una pendiente suficiente para que no se acumule agua en torno a este elemento.
- Para fundaciones de estructuras ancladas mediante placa base y pernos de anclaje, los planos deberán indicar las notas constructivas necesarias para la correcta nivelación de la placa base.

6. DISEÑO DE FUNDACIONES CUYA SOLICITACION PRINCIPAL ES VERTICAL

Este tipo de fundaciones se caracteriza por ser fundaciones aisladas con las siguientes solicitaciones a nivel superficial:

- Solicitación Vertical (Compresión / Tracción) importante.
- Solicitación de Corte bajo con respecto a la solicitación Vertical.
- Solicitación de momento o flexión nula.

Ejemplo de este tipo son las fundaciones de patas individuales de torres.

Este tipo de fundaciones deberá diseñarse de acuerdo con las siguientes disposiciones:

a. General

- El diseño deberá incluir la verificación de los siguientes Criterios de Estabilidad según lo señalado en la sección 5.2 de la presentes Especificaciones Técnicas:
 - Resistencia a la Compresión del Suelo.
 - Estabilidad al Volcamiento.
 - Estabilidad al Arrancamiento (tracción) considerando el Método del Cono de Arranque y el Método de Meyerhof y Adams.
- Si la solicitación de Corte es menor a 15% de la solicitación Vertical, no será necesario verificar la Estabilidad al Deslizamiento.

b. Fundaciones apoyadas en suelo

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

- Cuando el tipo de suelo no se pueda clasificar como “roca sana o moderadamente fracturada y meteorizada” según definición de la sección 5.2 de la Especificación Técnica para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE, se diseñarán fundaciones concretadas contra terreno o de losa + vástago según el tipo de suelo donde se apoyarán.
- Para garantizar que se desarrolla el Cono de Arranque utilizado en el diseño, las fundaciones concretadas contra terreno deberán tener un ensanche inferior o zarpa también concretada contra terreno natural. La pendiente de esta zarpa será de H:V= 1:2 salvo que el Informe de Mecánica de Suelos recomiende un pendiente diferente. La longitud de la zarpa no será superior a 30 cm (Ver Figura N° 2 en sección 8).
- La altura de suelo que colabora a resistir el arrancamiento se medirá desde la superficie inferior de la zarpa o de la superficie superior de la losa según sea el tipo de fundación (Ver Figura N° 1 en la presente sección).
- Los parámetros de suelo para la Estabilidad al Arrancamiento corresponderán a los del estrato inferior siempre y cuando al menos el tercio inferior de la profundidad de la fundación esté en este estrato. De no producirse esta situación, se deberán considerar los parámetros de suelo correspondientes al estrato superior.
- Para el Método de Meyerhof y Adam se considerará que el suelo que se encuentra sobre el estrato resistente tiene una resistencia al corte nula y solo colabora con su peso propio.

Figura N° 1: Croquis para Estabilidad al Arrancamiento

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Se diseñará un dado de hormigón con la altura necesaria para anclar la pata (mediante barra de fundación o pernos de anclaje según corresponda) al dado de hormigón y éste a los cáncamos.
- El dado de hormigón deberá tener al menos 20 cm de profundidad en la roca natural.
- Los cáncamos se instalarán con una pendiente de H:V = 1:8.
- El diseño al Arrancamiento se realizará mediante el Método del Cono considerando un ángulo de arranque $\alpha = 30^\circ$ y una tensión de corte en el manto del cono de 0,2 kg/cm².
- La armadura mínima de los cáncamos o barras de anclaje será de 8 ϕ_b 18 y deberán ser barras con resalte.

Para este tipo de fundaciones no será necesario verificar la Estabilidad al Deslizamiento.

Para el dimensionamiento del dado de hormigón se podrá aceptar un Área de Compresión de 80% para las solicitaciones normales considerando que la fundación está anclada a la roca.

En el diseño de este tipo de fundación no se considerará ningún tipo de colaboración del suelo por sobre el nivel de roca, ni siquiera su peso.

d. Caso especial: Muertos de Anclaje de Tirantes de Torres Atirantadas

El diseño de los muertos de anclaje de tirantes de Torres Atirantadas deberá considerar que la sollicitación de arrancamiento está en la misma dirección del tirante, por lo que el plano de falla se desarrolla en esa misma dirección.

La Estabilidad al Arrancamiento se deberá verificar con el Método de Meyerhof y Adams considerando un factor de seguridad mínimo de 2,0 con respecto a la sollicitación de servicio del tirante.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

7. DISEÑO DE FUNDACIONES CUYA SOLICITACIÓN PRINCIPAL ES FLEXIÓN

Este tipo de fundaciones se caracteriza por tener las siguientes solicitaciones a nivel superficial:

- Solicitación de Momento o Flexión importante (Uniaxial o Biaxial).
- Solicitación de Corte no despreciable o alto.
- Solicitación Vertical baja, normalmente solo carga de compresión por peso o carga de tracción baja.

Ejemplo de este tipo son las fundaciones de equipos y las fundaciones de estructuras con dos o más patas apoyadas sobre la fundación.

Este tipo de fundaciones pueden ser fundaciones aisladas propiamente tal o fundaciones aisladas conectadas con vigas de amarre.

Este tipo de fundaciones deberá diseñarse de acuerdo con las siguientes disposiciones:

a. General

El diseño deberá incluir la verificación de los siguientes Criterios de Estabilidad según lo señalado en la sección 5.2 de las presentes Especificaciones Técnicas:

- Resistencia a la Compresión del Suelo
- Estabilidad al Volcamiento
- Estabilidad al Deslizamiento

Para este tipo de fundaciones no será necesario verificar la Estabilidad al Arrancamiento.

Este tipo de fundaciones puede ser construido tanto en terreno natural como en la plataforma de una subestación. Para efecto de lo que se señala en este punto se entenderá por “terreno natural” cualquiera de las dos condiciones.

b. Fundaciones aisladas diseñadas sin colaboración lateral de suelo

- Las fundaciones podrán ser diseñadas concretadas contra terreno o de losa + vástago según el tipo de suelo donde se apoyarán.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Para la verificación de la Estabilidad al Volcamiento se podrá considerar la colaboración del suelo mediante el desarrollo de un “Medio Cono de Arranque” según el denominado Método X-Y Modificado utilizado comúnmente en el diseño de este tipo de fundaciones.
- Para garantizar que se desarrolla el Cono de Arranque utilizado en el diseño, las fundaciones concretadas contra terreno deberán tener un ensanche inferior o zarpa también concretada contra terreno natural. La pendiente de esta zarpa será de H:V= 1:2 salvo que el Informe de Mecánica de Suelos recomiende una pendiente diferente.
- Para las fundaciones tipo losa + vástago, el relleno sobre la fundación deberá ser un relleno estructural compactado que permita el confinamiento de la fundación. El tipo de relleno y su grado de compactación serán los recomendados en el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto.
- Para el caso de fundaciones compuestas por losa con dos o más vástagos o pilares, la losa de apoyo deberá ser lo suficientemente rígida para que el conjunto se comporte como un cuerpo rígido. Para tal efecto, el espesor de la losa no podrá ser menor a un tercio de la separación libre entre pilares.
- En el caso de que este tipo de fundaciones no verifique la Estabilidad al Deslizamiento, el diseño deberá incorporar un “diente” el cual se colocará en el centro de la fundación; las dimensiones de ancho y profundidad serán las necesarias para que la fundación no deslice.

Alternativa a lo anterior podrá ser un mejoramiento local de suelo, lo cual debe contar previamente con la aprobación de CGE.

c. Fundaciones aisladas diseñadas con colaboración lateral de suelo

- Se podrá considerar la colaboración lateral del suelo, método de diseño conocido como Método de Sulzberger, siempre y cuando el Informe de Mecánica de Suelos del proyecto así lo señale explícitamente y/o señale al menos los siguientes parámetros de diseño de colaboración lateral:
 - Tensión horizontal admisible de contacto: normal y eventual.
 - Constante de Balasto Horizontal.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Las fundaciones deberán ser diseñadas como un monobloque concretado contra terreno cuya profundidad de fundación deberá ser siempre mayor que el ancho de la fundación.
 - Para este tipo de fundaciones no será necesario verificar la Estabilidad al Deslizamiento
- d. Caso Particular: Fundaciones aisladas conectadas con vigas de amarre

Las fundaciones aisladas diseñadas sin colaboración lateral de suelo podrán conectarse a otras fundaciones similares mediante vigas de amarre en caso de ser necesario. Las fundaciones diseñadas con colaboración lateral del suelo no podrán conectarse a otras.

Para las fundaciones aisladas conectadas con vigas de amarre, el Ingeniero Diseñador deberá elaborar los Criterios de Diseño para las vigas de amarre y deberá señalar cómo evaluará o evitará la influencia adicional en el comportamiento de la fundación producto de su conexión con otra u otras fundaciones aisladas, en particular durante la ocurrencia de las solicitaciones sísmicas.

Estos Criterios de Diseño deberán tener la aprobación de CGE previo al inicio del diseño propiamente tal.

8. DISEÑO DE FUNDACIONES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Las fundaciones de proyectos de Líneas de Transmisión serán fundaciones aisladas, ya sea individuales por pata (solicitud principal es Vertical) o conjunta para dos o más patas (solicitud principal es Flexión Uniaxial o Biaxial).

La elección de uno u otro tipo de fundación dependerá de la estructura particular.

8.1. Fundaciones cuya solicitud principal es de flexión

Este tipo de fundación se utilizará para estructuras autosoportantes del tipo monoposte tubular, estructuras enrejadas de sección angosta o cuando no pueda ser factible diseñar fundaciones individuales por pata sin traslapo entre ellas.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Para el caso de fundaciones de estructuras tipo monoposte tubular se deberá considerar que las solicitudes de diseño se encuentran a nivel de la placa base de la estructura.

Para el caso de fundaciones de estructuras enrejadas, se deberá considerar que las solicitudes de diseño se encuentran a nivel de la denominada “Perforación de Referencia” de cada pata o apoyo, la que se ubica normalmente a 10 cm por sobre el nivel de coronamiento de la fundación.

Usualmente las reacciones para las estructuras enrejadas se entregan como fuerzas Verticales (Compresión / Tracción) y Horizontales (Corte en ambos ejes) para cada pata o apoyo. Será responsabilidad del Ingeniero Diseñador determinar las solicitudes resultantes de las combinaciones de las distintas patas o apoyos de la estructura para el diseño de la fundación conjunta.

Este diseño deberá realizarse considerando terrenos sin pendiente y para los siguientes tipos de suelo señalados en la sección 5.2 de la Especificación Técnica para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE: Suelo Tipo 2, Suelo Tipo 3, Suelo Tipo 4 y Suelo Tipo 6; o para aquellos tipos de suelo que CGE defina de manera particular.

El diseño de este tipo de fundaciones para Suelo Tipo 1 (Roca) y para terrenos en pendiente se considerará como fundaciones especiales, diseños que se deberán realizar caso a caso según necesidad.

8.2. Fundaciones cuya solicitud principal es vertical

Este tipo de fundación se utilizará para estructuras autosoportantes enrejadas de sección suficiente para ser factible diseñar fundaciones individuales por pata sin traslapo entre las fundaciones propiamente tal. Podrá existir traslapo de los “Conos de Arranque” según sean las dimensiones de la sección basal de la estructura, en tal caso, el diseño propiamente tal deberá tomar en cuenta la reducción del cono de arranque debido a dicho traslapo.

Se deberá considerar que las solicitudes de diseño para estas fundaciones se encuentran a nivel de la denominada “Perforación de Referencia” de cada pata, la que se ubica normalmente a 10 cm por sobre el nivel de coronamiento de la fundación.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Las solicitudes de diseño deberán ser las que se obtienen de la combinación más desfavorable de patas según diseño de la torre.

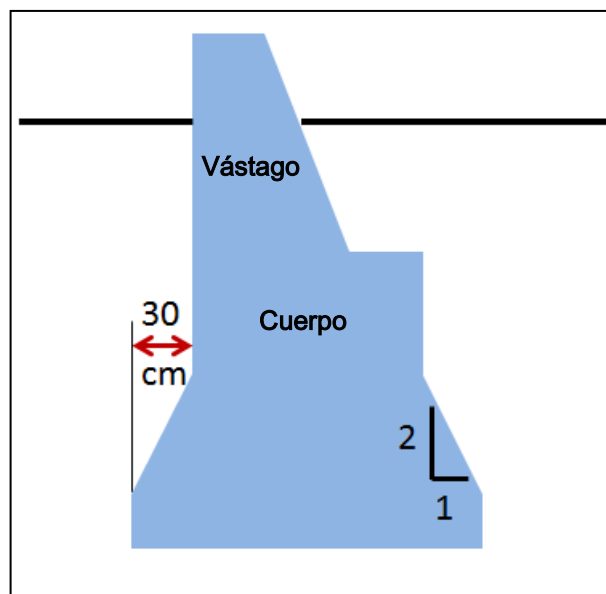
El diseño de estas fundaciones deberá considerar las siguientes condiciones:

- Diseño de “fundaciones normales” Suelo Tipo 1, Suelo Tipo 2, Suelo Tipo 3, Suelo Tipo 4 y Suelo Tipo 6 según sección 5.2 de la Especificación Técnica para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE o para aquellos tipos de suelo que CGE defina de manera particular.
- Diseño de “fundaciones en ladera” para Suelo Tipo 2 y Suelo Tipo 3 según sección 5.2 de la Especificación Técnica para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE o para aquellos tipos de suelo que CGE defina de manera particular.
- El diseño para Suelo Tipo 2 y Suelo Tipo 3 deberá considerar fundaciones concretadas contra terreno.
- El diseño para Suelo Tipo 4 deberá considerar dos tipos de fundación: una concretada contra terreno y una tipo losa + vástago para suelo con potencial de derrumbe.
- El diseño para Suelo Tipo 6 deberá considerar fundación tipo losa + vástago
- El diseño para Suelo Tipo 1 deberá ser fundación anclada en roca y considerar que el dado de hormigón podrá extenderse hasta 80 cm por sobre las dimensiones básicas, para permitir el correcto montaje de la torre en zona de pendiente
- Se entenderá por fundaciones normales aquellas ubicadas en terreno con pendiente no mayor $H:V = 5:1$ ($11,3^\circ$)
- El diseño de fundaciones en ladera deberá considerar las siguientes situaciones:
 - Pendiente Suave: pendiente del terreno entre $H:V = 5:1$ y $H:V = 3:1$ ($11,3^\circ$ a $18,4^\circ$)
 - Pendiente Fuerte: pendiente del terreno entre $H:V = 3:1$ y $H:V = 1,5: 1$ ($18,4^\circ$ a $33,7^\circ$)
 - Para ambos casos se deberá considerar que una fundación “se entierra” y otra “se levanta”
 - Para la fundación que se levanta se deberá considerar en su diseño una extensión máxima de 80 cm para permitir el correcto montaje de la torre. La extensión siempre será en el cuerpo de la fundación (Ver Figura N° 2 siguiente)

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

- Para un mismo tipo de suelo, el vástago de la fundación deberá ser el mismo, ya sea fundación normal o fundación en ladera

Figura N° 2: Croquis Fundación contra terreno



El diseño de fundaciones en ladera para pendiente mayor a $H:V = 1,5:1$ ($33,7^\circ$) se considerará como fundaciones especiales, diseños que se deberán realizar caso a caso según necesidad.

9. DISEÑO DE FUNDACIONES PARA ESTRUCTURAS ALTAS DE SUBESTACIONES

Las estructuras altas corresponden a estructuras constituidas en base a pilares y vigas, cuya finalidad es sostener conductores de energía eléctrica instalados en altura.

Este tipo de estructuras son similares a las estructuras de Líneas de Transmisión, por lo que sus diseños se deberán realizar según lo señalado en la sección 8 de estas Especificaciones Técnicas.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

10. DISEÑO DE FUNDACIONES PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS

Las fundaciones de equipos eléctricos corresponden normalmente a fundaciones aisladas cuya sollicitación principal es Flexión Uniaxial o Biaxial debido a que el equipo completo se apoya sobre la fundación, ya sea directamente como ocurre en los equipos pesados (transformadores de poder, reactores) o a través de una estructura de soporte como ocurre en los equipos livianos (transformadores de potencial, transformadores de corriente, pararrayos, desconectores, etc).

Las fundaciones de equipos eléctricos deben resistir las sollicitaciones propias del equipo (y la estructura de soporte cuando corresponda), las sollicitaciones de operación del equipo, las sollicitaciones sísmicas sobre el conjunto equipo + estructura + fundación y otras sollicitaciones externas según sus condiciones particulares.

En la presente especificación se señalan las exigencias para el cálculo de las sollicitaciones sísmicas sobre el conjunto equipo + estructura + fundación.

El diseño propiamente tal de la fundación debe realizarse para la condición más desfavorable que solicite al equipo en particular.

10.1. Aceleraciones sísmicas

- a. El diseño deberá realizarse considerando la siguiente aceleración sísmica horizontal del suelo A_0 :

Tabla N° 2: Aceleración Horizontal de Suelo A_0

Zona Sísmica	A_0
1	0,3 g
2	0,4 g
3	0,5 g

Las Zonas Sísmicas 1, 2, 3 corresponden a las señaladas en la Norma NCh 2369 última versión.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Para Subestaciones ubicadas cercanas al límite de zonificación según NCh 2369, deberá utilizarse en el diseño la Aceleración Horizontal A_0 mayor.

- b. El diseño deberá tomar en cuenta las amplificaciones sísmicas de la aceleración A_0 de acuerdo con el Espectro de Respuesta (A/g) correspondiente a la calificación sísmica del equipo (IEEE 693, ETG 1.020 o la que defina la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio última versión)
- c. Para la determinación de la aceleración sísmica horizontal (A/g) según Espectro de Respuesta, se deberán considerar los siguientes factores de amortiguamiento (ε):

- Equipos con estructuras de soporte entre el equipo y la fundación:
 - $\varepsilon = 3\%$ para estructura de soporte soldadas
 - $\varepsilon = 5\%$ para estructuras de soporte reticuladas con conexiones apernadas

- Equipos anclados directamente a la fundación:
 - $\varepsilon = 5\%$ para fundaciones sobre terrenos con $V_s \geq 1800$ m/seg
 - $\varepsilon = 7\%$ para fundaciones sobre terrenos con $V_s < 1800$ m/seg

donde V_s corresponde a la velocidad de propagación de las onda sísmicas transversales

- d. La aceleración sísmica horizontal (A/g) a considerar en el diseño de las fundaciones corresponderá a la máxima aceleración según Espectro de Respuesta para el factor de amortiguamiento ε señalado en la sección 10.1.c precedente
- e. El diseño deberá realizarse considerando una aceleración vertical correspondiente al 60% de la aceleración horizontal A_0 actuando simultáneamente.

10.2. Coeficientes Sísmicos para el diseño

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

Los coeficientes sísmicos horizontal y vertical que deben utilizarse en el diseño de fundaciones según lo señalado en la sección 10.1 precedente son los siguientes:

- Coeficiente Sísmico Horizontal: $Ch = A (Ao, \varepsilon)/gR$
- Coeficiente Sísmico Vertical: $Cv = 0.60 Ao$ simultáneo con Ch

El Coeficiente Sísmico Horizontal podrá considerar un factor de modificación de la respuesta a la aceleración horizontal, R , de:

- Fundaciones de Hormigón: $R = 3$
- Sistemas de anclaje a la fundación: $R = 2,25$ (pernos de anclaje dúctiles, placas base, llaves de corte de acero, otros elementos de acero)
- Para otro tipo de materiales se deberá evaluar si este valor de R puede ser mayor a 1,0 según sea la ductilidad del material.

10.3. Solicitaciones sísmicas

- El diseño deberá considerar que el nivel basal es el sello de fundación y que las solicitaciones sísmicas se aplican a todos los pesos ubicados por encima del nivel basal, es decir: equipo, estructura, fundación y suelo sobre la fundación. Las excepciones a esta regla deberán justificarse atendiendo a condiciones particulares de confinamiento lateral de la fundación.

$$Q_b = Ch * \sum W_i$$

Donde:

Q_b = Corte Sísmico total

Ch = Coeficiente Sísmico Horizontal

W_i = Peso Nivel i ubicado por encima del nivel basal

- La distribución sísmica del corte basal (fuerzas sísmicas horizontales) podrá ser de 2 tipos:
 - Distribución uniforme: proporcional al peso de los componentes y aplicadas en sus respectivos centros de gravedad.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

Donde:

F1_i = Fuerza Sísmica Horizontal Uniforme Nivel i

Qb = Corte Sísmico total

Ch = Coeficiente Sísmico Horizontal

Wi = Peso Nivel i ubicado por encima del nivel basal

$$F1_i = \frac{W_i * Qb}{\sum W_i} = Ch * W_i$$

- Distribución triangular: proporcional al producto de pesos por alturas de las partes sobre el nivel basal, aplicados en sus respectivos centros de gravedad.

Donde:

F2_i = Fuerza Sísmica Horizontal Triangular Nivel i

Qb = Corte Sísmico total

Hi = altura centro de gravedad Peso Nivel i, medido desde el nivel basal definido en 10.3.a

Wi = Peso Nivel i ubicado por encima del nivel basal

$$F2_i = \frac{h_i * W_i * Qb}{\sum (h_i * W_i)}$$

- Fundaciones donde el equipo se ancla directamente a la fundación, y donde el tipo de suelo de fundación no produce rotación en la base, se considerará una distribución de corte basal uniforme (F1)
- Fundaciones donde el equipo se ancla directamente a la fundación, y donde el tipo de suelo de fundación puede producir rotación en la base (suelos blandos o aluviales), se considerará una distribución de corte basal triangular (F2)
- Fundaciones donde el equipo se ancla a la fundación mediante una estructura de soporte, independiente del tipo de suelo, se considerará una distribución de corte basal combinado para tomar en cuenta el efecto de cabeceo: 1/3 uniforme más 2/3 triangular (1/3 F1 + 2/3 F2)
- Fundaciones para estructuras bajas de soporte de equipos, en que justificadamente no se considere el efecto de cabeceo, se considerará una distribución de corte basal uniforme (F1).
- Las solicitaciones de momento que se obtienen según la distribución señalada en 10.3.d y 10.3.e se afectarán por el coeficiente de reducción $J = 0.8 + 0.2 h / H$, donde h es la cota donde se

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

evalúa la solicitación de momento y H es la altura de la parte más alta del sistema, ambas medidas desde el nivel basal señalado en 10.3.a

- h. Simultáneamente con las fuerzas sísmicas horizontales señaladas, se debe considerar una fuerza sísmica vertical F_v actuando hacia arriba o hacia abajo, según sea la condición más desfavorable, en la ubicación del centro de gravedad del elemento

$$Fv_i = \pm Cv * W_i$$

Donde:

Fv_i = Fuerza Sísmica Vertical Nivel i

Cv = Coeficiente Sísmico Vertical

W_i = Peso Nivel i ubicado por encima del nivel basal

- i. Se deberán tomar en cuenta todas las solicitaciones que pudieran estar actuando simultáneamente con el sismo y en la dirección más desfavorable, tales como:

- Peso propio
- Efecto dinámico de las conexiones flexibles con otros equipos
- Fuerzas de cortocircuito
- Otras

11. DISEÑO DE FUNDACIONES ESPECIALES

Se consideran fundaciones especiales aquellas no individualizadas en las presentes Especificaciones Técnicas tales como:

- Pilas
- Pilotes
- Parrillas
- Otras

Igualmente se consideran fundaciones especiales aquellas que deban tener alguna protección especial contra la erosión o socavación por estar cercanas a zonas de escurrimientos de agua importantes.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Para el diseño de las fundaciones especiales, el Ingeniero Diseñador deberá elaborar los Criterios de Diseño respectivos para aprobación de CGE previo al diseño de las fundaciones propiamente tal.

12. DOCUMENTOS DE RESPALDO DEL DISEÑO DE FUNDACIONES

El diseño de las fundaciones deberá estar debidamente respaldado por una **Memoria de Cálculo** que deberá contener como mínimo la siguiente información:

- Documentos de referencia para el diseño (planos de estructuras, memorias de cálculo de estructura, planos de equipos, etc)
- Normas utilizadas en el diseño.
- Solicitaciones consideradas en el diseño y referencia de su procedencia.
- Referencia al Informe de Mecánica de Suelos correspondiente o en su defecto indicación del tipo de suelo considerado según Especificación Técnica para Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos de CGE.
- Parámetros de suelo considerados en el diseño.
- Dimensiones de la fundación (planta y elevación).
- Para el caso de diseño de fundaciones de equipos eléctricos se debe incluir:
 - Croquis donde se muestre claramente la ubicación de todas las solicitaciones consideradas así como el valor de cada solicitación.
 - Combinaciones de carga.
 - Plano del proveedor del equipo donde se muestre claramente el peso del equipo y la ubicación del centro de gravedad vertical y planta.
 - En caso de no contarse con la información del centro de gravedad del equipo, se debe indicar claramente los supuestos utilizados y el valor considerado para el diseño.
- Cálculos del diseño propiamente tal:
 - Dimensiones de la fundación.
 - Solicitaciones de diseño y su ubicación.
 - Tensión de Compresión sobre el suelo.
 - Área Comprimida.
 - Deslizamiento cuando corresponda: fuerzas deslizantes, fuerzas resistentes, Factor de Seguridad.

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Arrancamiento cuando corresponda: fuerza de arrancamiento, fuerza resistente, Factor de Seguridad.
- Cálculo de Armaduras cuando corresponda.
- Otros.

13. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DE FUNDACIONES

Los planos de construcción de fundaciones deberán ser elaborados de manera tal que sean autosuficientes para la construcción de las mismas haciendo referencia a otros planos si es necesario, pero en la medida de lo posible no redireccionando indicaciones constructivas a otros documentos que no sean planos ni Especificaciones Técnicas.

La mínima información que deberán tener los planos de construcción de fundaciones es la siguiente:

General

- Dimensiones de la fundación:
- Lista de fierros
- Cubicación
- Calidad de los materiales: armaduras, hormigón, barras de anclaje en roca, lechada, etc
- Especificación Técnica de colocación de barras de anclaje en roca
- Especificación Técnica de colocación de rellenos compactados
- Aprobación del sello de fundación por Ingeniero Geotécnico
- Aprobación de taludes de excavación por Ingeniero Geotécnico
- Elemento que ancla la estructura o equipo a la fundación (pernos de anclaje o stub según corresponda). En caso de que el elemento sea parte del diseño de la fundación, en el plano se deberá indicar la calidad de los materiales de este elemento; en caso de que el elemento forme parte de la estructura o equipo, se deberá señalar la referencia de su procedencia.

Planos de Fundaciones de Equipos

- Información complementaria sobre las características del equipo utilizado en el diseño
 - Peso
 - Ubicación del Centro de Gravedad

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGÓN				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

- Información complementaria sobre características del suelo utilizadas en el diseño
 - Angulo de fricción interna
 - Cohesión
- Información complementaria sobre resultados del diseño
 - Tensión de contacto sobre el suelo
 - Área comprimida
 - Factor de Seguridad al deslizamiento minorada

Planos de Fundaciones de Torres

- Ubicación de la Perforación de Referencia en planta con respecto al centro de la torre para todas las patas y alturas de la torre de acuerdo con los planos de fabricación.

En caso de no contar con dicha información, se deberá acotar con la información de los planos de diseño señalando en una nota destacada “Información según planos de diseño. Replanteo en terreno se debe realizar según información de planos de fabricación”

- Ubicación de la Perforación de Referencia en vertical con respecto al nivel de coronamiento de la fundación.

Planos de Fundaciones de Equipos con Pileta de contención de líquidos o aceite

- Para equipos que requieran del diseño de una pileta de contención para derrame de líquidos o aceite (ejemplo, transformadores de poder), el diseño y los planos deberán considerar que la pileta esté desconectada de la fundación del equipo propiamente tal.

De lo anterior, la armadura de la pileta debe ser independiente de la armadura de la fundación y en los planos se debe indicar la especificación del material a considerar como aislante o junta de dilatación entre ambas estructuras (pileta y fundación).



Nombre Documento	<i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON</i>				
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión	

Nombre Documento	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA DISEÑO DE FUNDACIONES DE HORMIGON			
Autor		Fecha	01/12/2023	Versión

ANEXO N° 1: TERMINOLOGÍA

Para efectos de entendimiento de lo señalado en las presentes Especificaciones Técnicas, se entenderá lo siguiente:

Símbolo	Significado
α	Ángulo de desarrollo del cono de suelo con respecto a la vertical
C	Cohesión del Suelo
ϕ	Ángulo de fricción interna del suelo
θ	Ángulo de giro de la fundación diseñada con colaboración lateral de suelo
σ_{Cadm}	Tensión de Compresión Admisible del Suelo
K	Constante de Balasto
f_c'	Resistencia cilíndrica del hormigón a los 28 días
Fy	Tensión de Fluencia del acero
FS	Factor de Seguridad
Ac	Área de apoyo comprimida de la fundación
ϕ_b	Diámetro de barra de armadura
Ao	Aceleración Sísmica Horizontal del suelo
A/g	Aceleración Sísmica según Espectro de Respuesta para Aceleración Horizontal de Suelo Ao
ε	Factor de Amortiguamiento Sísmico
R	Factor de Modificación de la Respuesta para Aceleración Horizontal de Suelo
Ch	Coefficiente Sísmico Horizontal para diseño
Cv	Coefficiente Sísmico Vertical para diseño

De preferencia en las memorias de cálculo y planos que se elaboren para los proyectos de CGE se deberá utilizar la simbología aquí señalada